ESTUDO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOLHA, JARAGUÁ DO SUL - SC

Marcos Aexandre POLZIN [1]
Fabiano Antonio de OLIVEIRA [2]

RESUMO

A intensa urbanização no município de Jaraguá do Sul, SC, tem promovido impactos consideráveis sobre o sistema hidrográfico, em especial na bacia do rio Molha. A remoção da mata ciliar e a utilização de aterros próximos às margens do rio têm contribuído para um aumento de sua carga sedimentar. O presente trabalho está vinculado a um projeto de iniciação científica do Departamento de Geografia da Universidade da Região de Joinville e tem como objetivo efetuar um levantamento quali-quatitativo da carga sedimentar do rio Molha, de modo a permitir a identificação de trechos em que o aporte de sedimentos é mais significativo. O rio Molha é um curso d'água típico de montanha, com gradiente topográfico de 760m e comprimento total de 6,8 km, cuja bacia hidrográfica corresponde a um triângulo com aproximadamente 11,76 Km2 e 16,33 Km de perímetro. O trabalho foi dividido em três etapas: quantificação dos sedimentos em suspensão e de arraste e levantamento de dados físico-químicos (turbidez, temperatura e pH), segundo metodologias propostas por Carvalho (1994); caracterização dos sedimentos de fundo e suspensão; geração de produtos cartográficos de análise e síntese. A quantificação sedimentar deu-se através da mensuração de forma direta em caráter quinzenal das vazões e coleta de amostras de água em três pontos do perfil longitudinal do rio principal. O primeiro ponto localiza-se à jusante da área urbanizada e próximo à foz, o segundo ponto localiza-se à montante da área urbanizada e o terceiro é intermediário aos dois últimos pontos. Os dados de vazões foram confrontados com dados pluviométricos, de modo a se relacionar a quantidade de água precipitada nos últimos dias antecedentes à mensuração da vazão e os níveis de turbidez e material em suspensão. Para a quantificação do material em suspensão, as amostras de água foram filtradas com membranas de 0,2 μm e 62 μm. Para a queima da matéria orgânica utilizou-se uma mufla à temperatura de 550oC. Desta forma pôde-se estabelecer padrões quanto à fração granulométrica e à quantidade de matéria orgânica dos sedimentos em suspensão. Para a quantificação do material de arraste utilizou-se inicialmente uma adaptação do amostrador de Mulhofer, que não apresentou o desempenho esperado, passando-se, assim, à utilização do método indireto de quantificação simplificado de Colby (1964), que consiste em uma fórmula semi-empírica determinística modificada de Einstein (1950). Para a classificação do material de arrasto, utilizou-se de peneiras graduadas. Na elaboração de produtos cartográficos foram utilizadas informações obtidas de imagens orbitais e sub-orbitais de uso do solo e associadas a mapas clinográfico, geomorfológico, geológico e de fluxos hídricos. As medidas de vazões indicam um aumento médio de 100% do volume de água de montante para jusante. As análises de turbidez apontam um pequeno aumento para jusante em relação aos pontos anteriores, sendo este maior no ponto intermediário. O nível de pH aumenta consideravelmente nos pontos intermediário e a jusante, seguido também pelo aumento de matéria orgânica. em suspensão. As variações de turbidez ocorrem conforme a variação da vazão, percebendo-se predomínio de carga de fundo em vazões maiores e de sedimentos em suspensão nas vazões menores. Os sedimentos em suspensão medidos no ponto jusante somam em média 800 kg/dia. A carga total de sedimentos (arraste e suspensão), segundo a fórmula de Colby, é de aproximadamente 3,2 t/dia. A fração granulométrica superior a 0,8mm e maior homogeneidade é encontrada no ponto a montante, e menos homogêneo no ponto a

[1] UNIVILLE, Universidade da Região de Joinville, Graduando em Geografia, polzincom@yahoo.com.br.
[2] UNIVILLE, Universidade de Região de Joinville, Professor do Curso de Geografia, fabiano.o@uol.com.br.

jusante. Segundo o levantamento cartográfico, percebe-se o predomínio de processos erosivos na áreas a montante, próximas de descampados e a jusante, localizadas em setores com maiores declividades.

INTRODUÇÃO

A ocupação da área atualmente conhecida com Rio Molha, Jaraguá do Sul, SC, remete ao início do século XX, quando os primeiros migrantes, muitos deles vindos de quilombos da região de Paraty (atual Araquari), se estabeleceram na região. A população local aumentou consideravelmente após o inicio da industrialização do município, nas décadas de 50 e 60, como resultado de um processo de especulação imobiliária que ocorreu na parte central da cidade.

A remoção da vegetação original e a decorrente exposição do solo têm propiciado uma intensificação do carreamento de materiais superficiais para a rede hidrográfica local. No processo de urbanização muitas vezes foram utilizados aterros para ganho de área edificável, em especial próximo às margens do rio Molha. É possível observar nas áreas próximas aos aterros um aumento da carga sedimentar depositada no leito fluvial. O aumento da carga sedimentar no rio Molha pode estar relacionado ao processo de assoreamento verificado no rio Jaraguá, do qual é tributário.

Com relação a questões que envolvem o planejamento urbano, o município de Jaraguá do Sul apresenta poucas pesquisas no âmbito ambiental, principalmente no que se refere aos problemas resultantes da intensa urbanização em áreas de encostas e suas conseqüências em relação aos processos erosivos decorrentes, relacionados ao aporte de sedimentos nas calhas dos rios. A atividade de planejamento em nível municipal carece de dados e informações referentes à dinâmica do meio físico que possam subsidiar ações e determinações legais referentes ao uso e ocupação do solo.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo efetuar um levantamento quali-quatitativo da carga sedimentar do rio Molha, de modo a permitir a identificação de trechos em que o aporte de sedimentos é mais significativo, contribuindo assim para o planejamento da expansão urbana em nível local.

A área da pesquisa situa-se na porção centro-sul do município de Jaraguá do Sul (Figura 1) e corresponde à bacia hidrográfica do rio Molha, com aproximadamente 11,76 km2, localizada entre as coordenadas UTM 689250, 7062581 e 694306, 7067511 (Figura 2). Ocorrem na área litologias da formação Luiz Alves, de idade pré-cambriana, compostas por segmentos gnáissicos granulíticos ortoderivados, de composição cálcio-alcalina, geralmente básicas, com porções restritas de formações ferríferas, paragnaisses e gnaisses migmatitos, além de sedimentos holocênicos colúvio-aluviais indiferenciados na sua porção de aclive e sedimentos aluvionares, cascalheiras, areias e sedimentos sílico-argilosos em sua parte mais plana. (FATMA, 2001).

A montante da área urbanizada da bacia hidrográfica, na faixa altimétrica correspondente ao nível em que se encontram as nascentes do rio Molha (480m), o relevo é escarpado, com declividades superiores a 50o. A partir da cota 200m o relevo é ondulado, formando declives não superiores a 20o em seu perfil longitudinal. Observa-se na área uma tendência de recorrência de movimentos de massa, com predomínio de deslizamentos rotacionais e reptação. O rio Molha apresenta significativo gradiente topográfico, que varia de 480m até 20m em uma distância de 6,87 Km, sendo considerado um rio de 4a ordem segundo a classificação Strahler (1952 apud CHRISTOFOLETTI, 1981). No contexto da bacia hidrográfica ocorrem solos do tipo Cambissolo Álico, em áreas de maiores declividades, e Argilossolo Vermelho-Amarelo, em áreas planas (FATMA, 2004). A precipitação média no município é de 1900 mm/ano (EPAGRI/CIRAM/CLIMERH). A cobertura vegetal é caracterizada pela presença de Floresta Ombrófila Densa (Mata-Atlântica) secundária, principalmente em áreas de grande declividade, além de culturas de espécies exóticas como

o eucalipto. Ao longo da calha do rio pode-se observar algumas espécies nanofanerófitas além de herbáceas de formação aluvial (FATMA, 2004).

Figura 1: Localização do município de Jaraguá do Sul no Estado de Santa Catarina. Fonte: AMVALI – Associação dos Municípios do Vale do Itapocu.

Figura 2: Localização da área da Bacia Hidrográfica do rio Molha. Nota-se sua localização próxima a área central do município (ponto vermelho). Fonte: do autor.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Para os estudos do diagnóstico do meio hidrográfico e sedimentométrico, elegeu-se como principal indicador a quantidade de sedimentos e material em suspensão. Para tanto foram analisados alguns parâmetros de fundamental importância, tais como turbidez e temperatura (parâmetros físicos) e pH (parâmetro químico).Tais parâmetros foram confrontados com dados pluviométricos e de vazão. No processo de mensuração de vazões e coleta de amostras de água elegeu-se, inicialmente, dois pontos: um a montante das áreas de adensamento urbano e outro a jusante das mesmas, próximo à foz do rio. Posteriormente definiu-se um terceiro ponto intermediário (Figura 3). A proximidade entre os pontos a montante e intermediário deve-se ao fato de que o primeiro localiza-se ao final da sessão onde não há adensamento urbano de grandes proporções. A localização do ponto intermediário contempla o início de uma ocupação urbana mais intensa além da proximidade de alocações de lagoas de piscicultura.

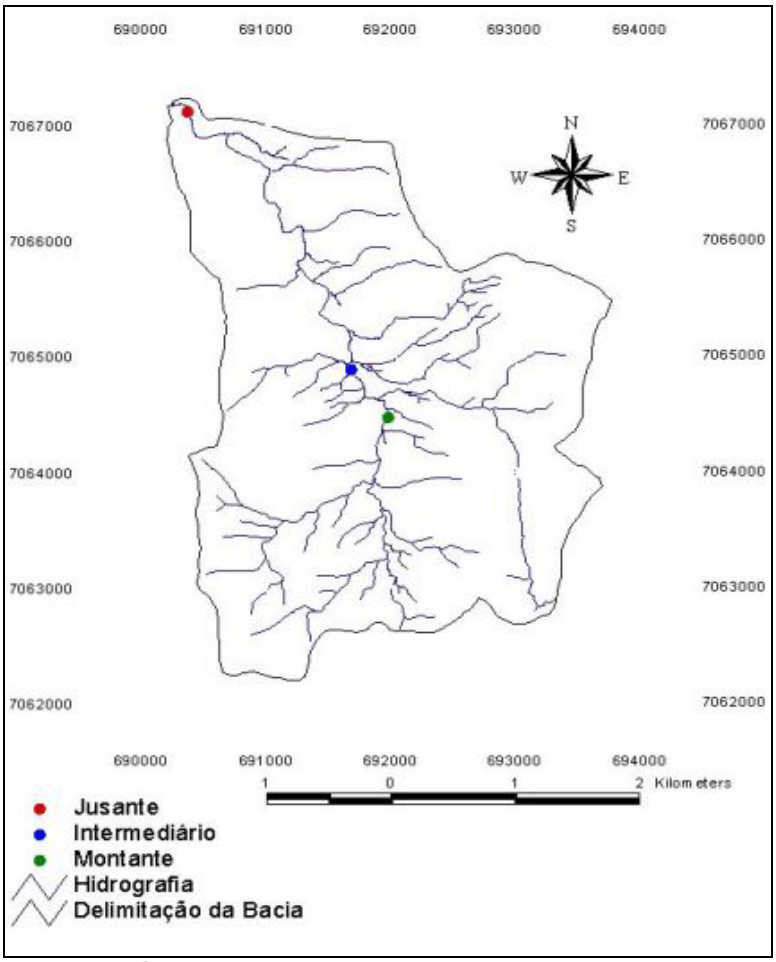

Figura 3: Localização dos três pontos de medidas de vazão e coleta de amostras. Fonte: do autor

As análises de turbidez foram realizadas segundo SANTOS *et al.* (2001) em todas as amostras recolhidas em campo. Para a análise utilizou-se turbidímetro (SOLAR SL K2, modelo portátil) com curva calibrada para valores superiores a 100 NTU. Alguns autores como RILEY (1997, *apud* SILVA *et al*., 2003) rejeitam o índice de turbidez como indicador direto da quantificação de sedimentos em suspensão. Segundo este autor o turbidímetro possui deficiências nas análises do material em suspensão por não distinguir os sedimentos da matéria orgânica, além de excluir algumas frações de areia. MORRIS e FAN (1997 *apud* SILVA *et al*, *op. cit.*) também são enfáticos ao afirmar que as medias de trubidez não permitem o monitoramento da granulometria da curva de sedimentos. Já LEWIS e EADS (1998, *apud.* SANTOS *et. al.*, 2001) afirmam que a turbidez é um indicador muito melhor do que a descarga líquida para estimar valores de concentração em suspensão, desde que os sensores do aparelho estejam devidamente calibrados. No entanto os autores concordam com RILEY (*op. cit*.) na afirmação que há uma sensível relação nos índices de turbidez entre tamanho e composição das partículas em suspensão.

As temperaturas da água foram medidas inicialmente com um termômetro convencional calibrado e posteriormente com um aparelho medidor de pH (pHgâmetro), (pH MASTER – Guton do Brasil, modelo portátil) *in loco* simultaneamente às medições de pH. Segundo PORTO *et al.* (1991, *apud* SANTOS *et al.*, 2001) a temperatura da água influencia diretamente as reações químicas e bioquímicas, bem como solubilidade de gases e a densidade da água. O autor ainda afirma que "com o aumento da temperatura da água, a solubilidade decresce e a condutividade, para a mesma concentração iônica, aumenta"(pág. 303).

A água com pH igual a 7 é definido como neutra. No ambiente aquático, água com baixo pH (ácido) pode solubilizar e liberar metais adsorvidos no sedimento, além de influenciar no conteúdo de fósforo e cessar a decomposição da matéria orgânica carbonácea. Em pH igual ou superior a 9, concentrações de amônia maior que 250 μg/L são extremamente tóxicas para peixes e invertebrados (TRABASKA e TUNDISI, 1999 *in* SANTOS, *op. cit.*).

As medidas de vazão ocorreram em pontos que favorecem o acesso (próximo a uma ponte ou um descampado). Para o monitoramento das vazões mediu-se a largura do canal fluvial com uma trena, dividindo-o em pontos eqüidistantes. A distância e o número de pontos varia conforme a largura do rio. Em cada ponto é medida a profundidade, utilizando-se uma régua e, posteriormente, medida a velocidade da corrente (V) com um micromolinete hidrométrico (GLOBAL WATER), a uma profundidade de aproximadamente 60% entre o fundo do leito e a lâmina d'água, segundo indicado por SANTOS *et al.* (2001). A área da seção transversal do rio (A) foi calculada por meio da regra de Simpson. Os valores finais de vazões foram obtidos pelo produto da velocidade pela área (Q=VxA), dado em m^3/s.

Os dados pluviométricos foram fornecidos pelo convênio EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropeguária e Extensão Rural de Santa Catarina)/ANA (Agência Nacional de Águas) nos meses de janeiro a maio de 2005, com medições de caráter diário, facilitando assim a análise pluviosidade/vazão.

Todas as coletas de água foram realizadas pelo método de amostragem pontual (CARVALHO, 1994). Para a coleta utilizou-se uma adaptação caseira do amostrador de sedimentos US PH-81 com bico no diâmetro ¼", com eficiência superior a 0,90. Para a obtenção do grau de eficiência utilizou-se a fórmula proposta por CARVALHO (1994). Foram recolhidos, segundo disponibilidade, 500 ml de água de cada amostra e acondicionadas em garrafas PET devidamente lavadas com água destilada. As garrafas foram então refrigeradas a temperatura de 4° C revestidas por "papel alumínio".

Para a quantificação do material em suspensão foi utilizado o método da filtragem em membranas de éster de celulose de 0,0625 ou 62μm e 0,0002 ou 0,2μm seguindo a escala proposta por WENTWORTH (1922) ou norte-americana apresentada por SUGUIO (1973). Os elementos em suspensão inferiores a 0,0002 mm foram ignorados.
A quantificação do material particulado em suspensão procedeu-se da seguinte forma:

As membranas foram secas em estufa à temperatura de 60°C por 48 horas e pesadas em balança analítica com intervalos de 24 horas para verificação de perda de umidade. Após o processo de filtragem com bomba de vácuo, já com o material, as membranas retornam à estufa com temperatura de 60° C, condicionadas por cerca de 72 horas também sendo pesadas a cada 24 horas, até que o peso se estabilize. Seu peso foi subtraído do peso seco previamente determinado. Para a separação dos sedimentos da matéria orgânica, as membranas foram acondicionadas em cadinhos previamente secos e pesados e levados a uma mufla à temperatura de 550°C em exposição de 1 hora. Os cadinhos foram então novamente pesados, obtendo-se assim, o valor referente a matéria orgânica pela subtração do peso do cadinho após queima da membrana na mufla do seu peso inicial. Todos os resultados foram organizados em planilha Excel e transformados em gráficos para melhor visualização.

Na quantificação do material do leito utilizou-se, de início, uma adaptação caseira do amostrador Mühlofer apresentado por CARVALHO (1994), que consiste na imersão de caixas com grades de diâmetro pré-determinado na seção transversal do rio para coleta do material de arraste naquela seção. No entanto os resultados de tal aplicação foram frustrantes, pois a quantidade de material retida nas caixas não era compatível com a quantidade do material em suspensão. Uma grande dificuldade na operação de instalação das caixas se dava no momento em que eram feitos buracos no leito arenoso para acomodá-las, de modo a se evitar que grãos de sedimentos fossem acidentalmente despejados em seu interior.

Devido a tais dificuldades adotou-se uma fórmula semi-empírica proposta por COLBY (1964 *apud* CARVALHO,1994), modificada de Einstein (1950 *apud* CARVALHO, *op. cit.*), que permite estimar a quantidade total de sedimentos em suspensão e de arrasto.. A escolha dá fórmula de COLBY deu-se devido ao seu ajustamento às condições físicas do leito do rio, como profundidade não superior a 3 metros e material do leito com fração média de 0,8 mm. Tal método é vantajoso, pois é simples e requer poucos dados, tais como a vazão, velocidade do fluxo e ppm de material em suspensão. Essa simplicidade permitiu a quantificação total de sedimentos através de dados retroativos ao início da adoção da fórmula. No entanto, alguns autores como YANG (1984, *apud* CARVALHO, *op. cit.*) atenta para a não utilização da fórmula de COLBY indiscriminadamente sem um estudo indicativo de sua possibilidade. O autor afirma que a fórmula de COLBY deve ser devidamente calibrada e corrigida segundo a utilização de uma fórmula mais confiável como a de Einstein (1950, *apud* CARVALHO, 1994).

Fórmula de COLBY:
A descarga total é calculada pelas expressões:
$Qst = Qsm + Qnm$
Onde:
$Qsm = 0{,}0864 \cdot Q \cdot Cs$
$Qnm = qnm \cdot K \cdot L$

Qst – descarga sólida total, em t/dia;
Qsm – descarga sólida medida em t/dia;
Qnm – descarga líquida medida em m^3 /s;
Cs – concentração medida em ppm;
L – largura do rio em m;
K – fator de correção.

RESULTADOS

Na figura 4 é apresentado o gráfico com os dados de pH, temperatura e turbidez nos últimos 6 meses. Pode-se observar que a temperatura da água alternou durante as medições, variando de 18,5°C a 22,8°C. As temperaturas são menores no ponto a montante e maiores nos pontos subseqüentes. O pH, no entanto, varia de modo contrário sendo menor no ponto a montante e maior nos ponto a jusante e intermediário, justamente em áreas com maior aporte de efluentes oriundos de lagoas de piscicultura, por conseqüência, com maior teor de matéria orgânica. No entanto, devido a uma maior quantidade de material orgânico, o pH da água nos pontos a jusantes deveriam ser mais baixos, face uma maior concentração de ácidos carbônicos e húmicos. Este fenômeno pode ser explicado, talvez, pela não utilização de algumas lagoas em determinado período do ano, quando são esvaziadas e cobertas com CaCO, com a finalidade de não ploriferação de ervas daninhas e de insetos, cujas larvas poderiam atacar alevinos na próxima utilização das lagoas. Outra hipótese é a de uso contínuo de produtos químicos na correção do solo ao longo das margens do rio.

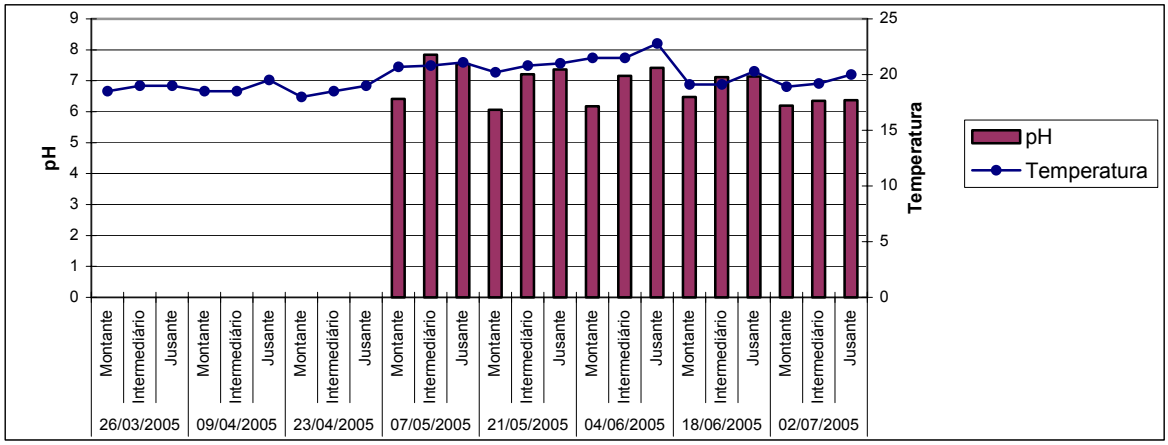

Figura 4: Gráfico dos resultados das análises de temperatura e pH. Fonte: do autor.

O gráfico da figura 5 apresenta os dados de precipitação em caráter diário em mm/dia dos meses de janeiro a maio. O índice de turbidez, com exceção do dia 25/5/2005, não tende a seguir a variação das vazões, como é observado no gráfico da figura 6. Ao observar os gráficos das figuras 5 e 6 pode-se fazer uma correlação entre a intensidade precipitada e o volume da vazão.

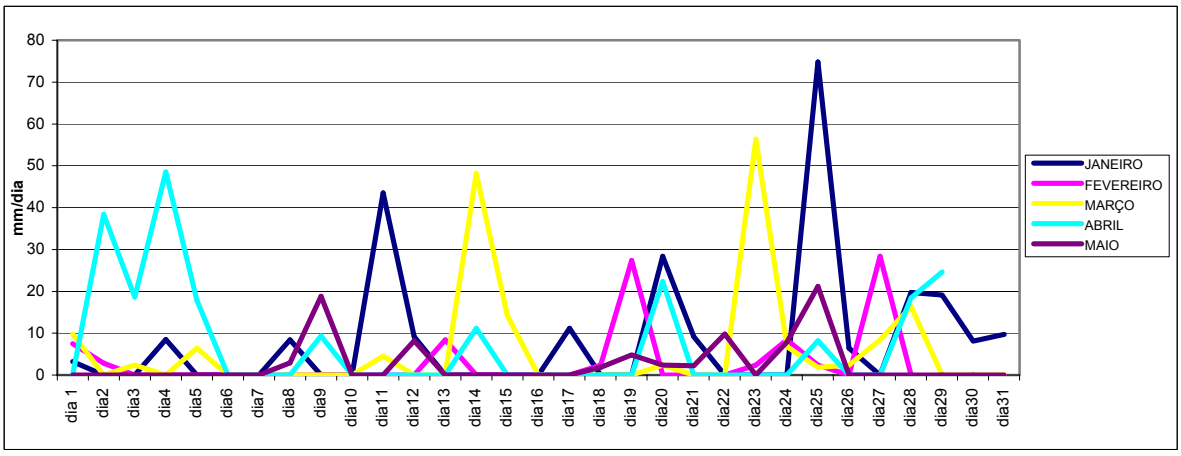

Figura 5: Gráfico de precipitação em caráter diário. Fonte EPAGRI/ANA.Organização: do autor.

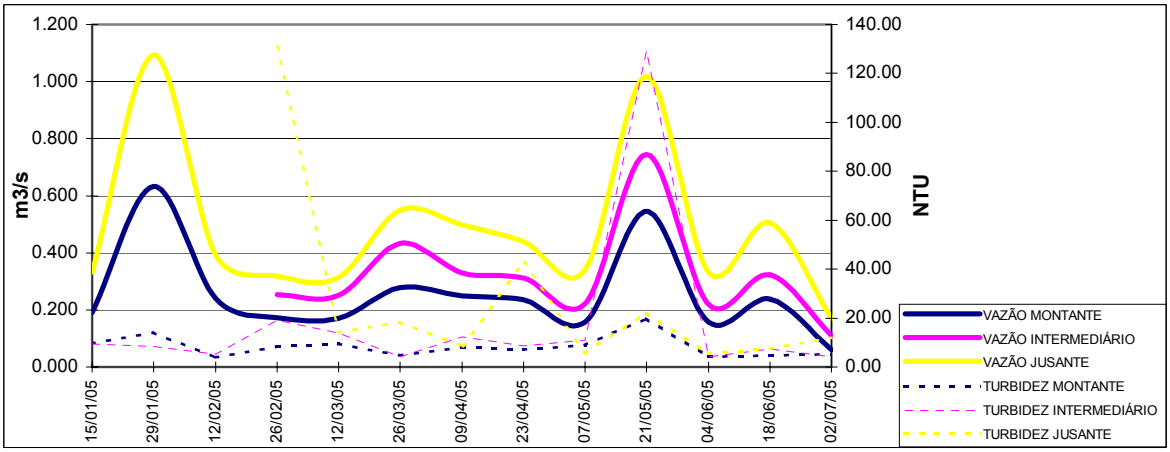

Figura 6: Gráfico representando os valores das vazões (m^3/s) e índice de turbidez (NTU). Fonte: do autor.

No gráfico da figura 7 pode-se notar a diferença entre as medidas diretas de sedimentos em suspensão das indiretas, com o uso da fórmula de Colby (sedimentos totais). Pode-se

observar que o ponto a jusante, por estar localizado na área mais plana da bacia é o principal ponto receptor do aporte sedimentar. Para a apresentação gráfica das proporções (figura 7) e valores totais (figura 8) foram subtraídos os valores em suspensão (método direto) dos valores do resultado do cálculo de sólidos totais de Colby (método indireto).

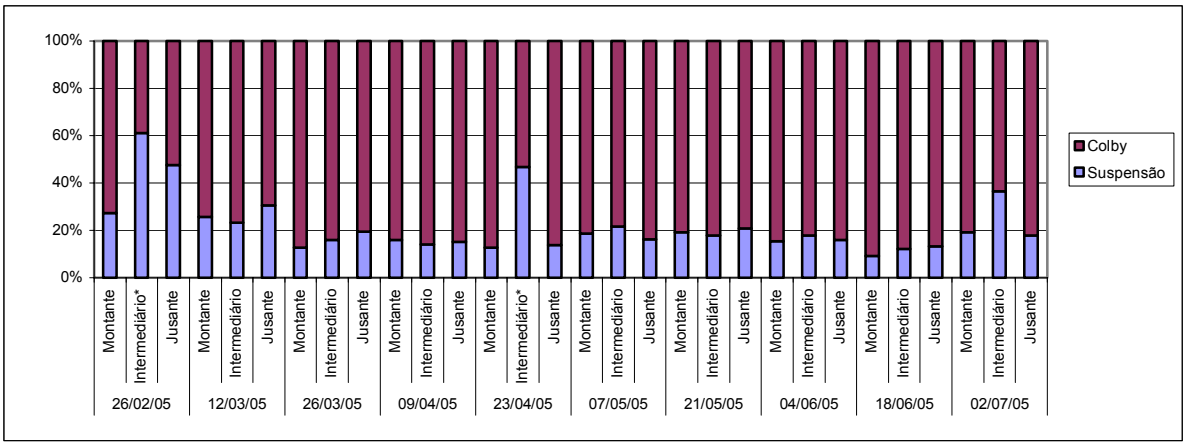

Figura 7: Gráfico com os índices proporcionais dos valores resultantes das medições diretas das coletas dos materiais em suspensão (filtragem) e indireta (fórmula de Colby). Intermediário*: Os valores do ponto intermediário nos dias 26/2/2005 e 23/4/2005 foram somados aos *inputs* dos efluentes das lagoas de piscicultura. Fonte: do autor.

A figura 8 apresenta os valores estimados em toneladas/dia do método direto de filtragem (suspensão) e indireto (formula de Colby) confrontados com os dados da vazão. Observa-se uma nítida correlação entre vazão e o aporte sedimentar.

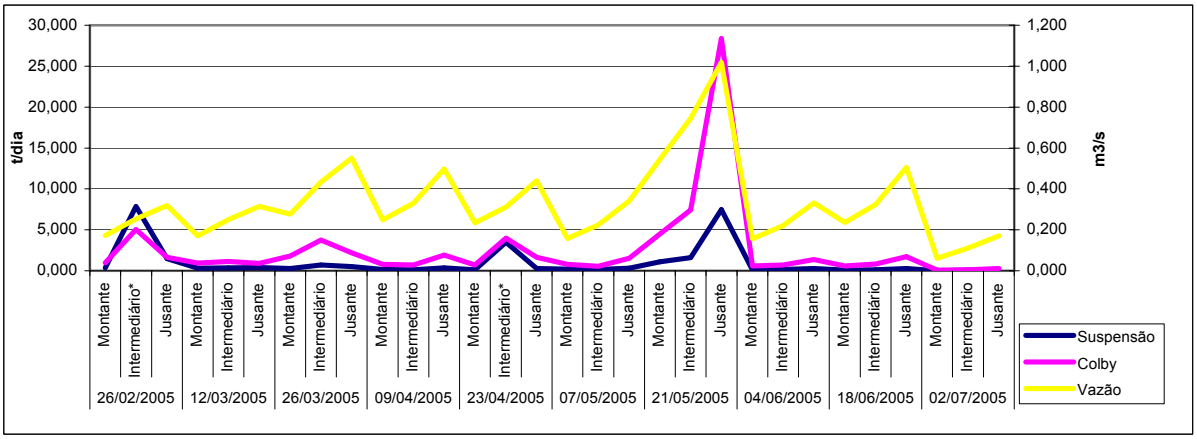

Figura 8: Gráfico representando os valores estimados em toneladas/dia dos dois métodos utilizados na pesquisa e os valores em m^3/dia. Fonte: do autor.

O índice percentual de matéria orgânica é maior nos pontos intermediário e a jusante, a partir dos pontos de entrada de efluentes das lagoas de piscicultura, como pode-se observar no gráfico da figura 9.

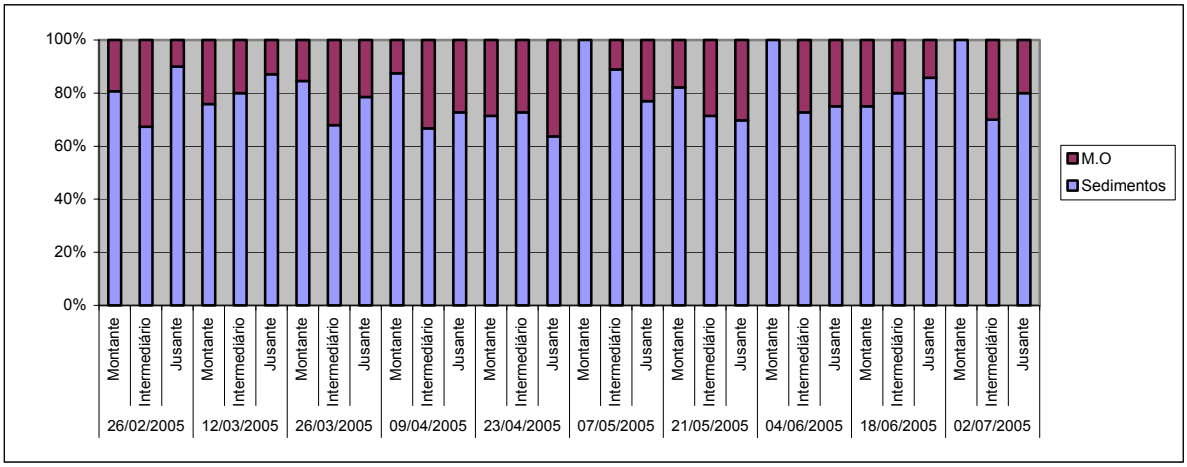

Figura 9: Gráfico com os índices proporcionais de Matéria Orgânica e Sedimentos retidos nas membranas pelo método direto. Fonte: do autor.

O gráfico da figura 10 apresenta os valores percentuais de sedimentos retidos nas membranas 0,2μm e 62μm. Nota-se uma maior retenção de sedimentos com granulometria superior a 62μm no ponto montante. Os valores inexistentes da granulometria superior a 0,2μm medidas no ponto montante nos dias 23/4/2005 e 2/7/2005 deve-se a insignificância do peso do material retido na membrana. Ainda no gráfico da figura 10 percebe-se que a participação proporcional da granulometria superior a 0,2μm tende a aumentar nos pontos intermediários e jusante, principalmente.

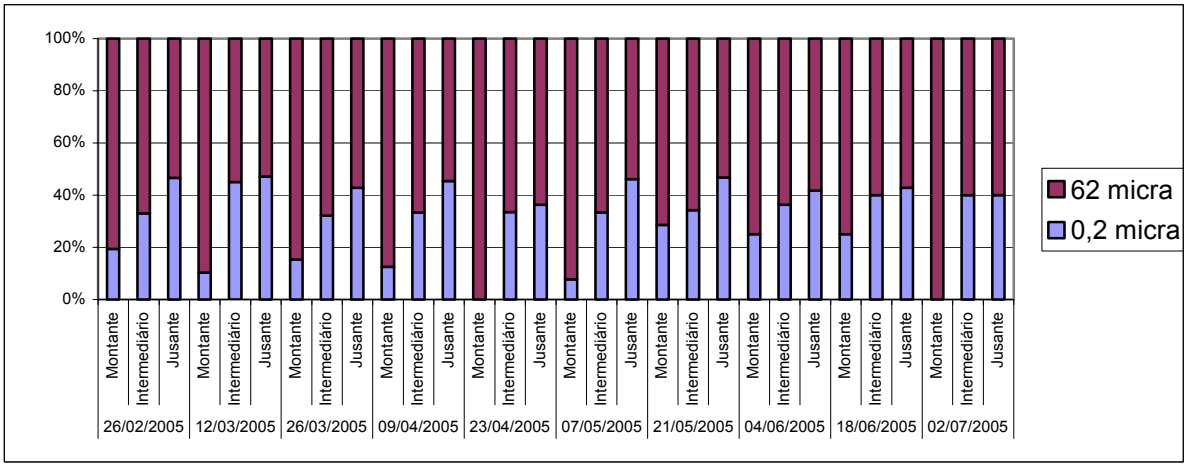

Figura 10: Gráfico com os índices proporcionais das granulometrias dos sedimentos retidos nas membranas de 0,2μm e 62μm.

Na figura 11 pode-se observar os três pontos de medidas de vazão e coleta de sedimentos em representação síntese. Os círculos representam os valores proporcionais dos sedimentos carreados em suspensão e arraste. As barras representam a proporção de sedimentos e matéria orgânica em determinado ponto.

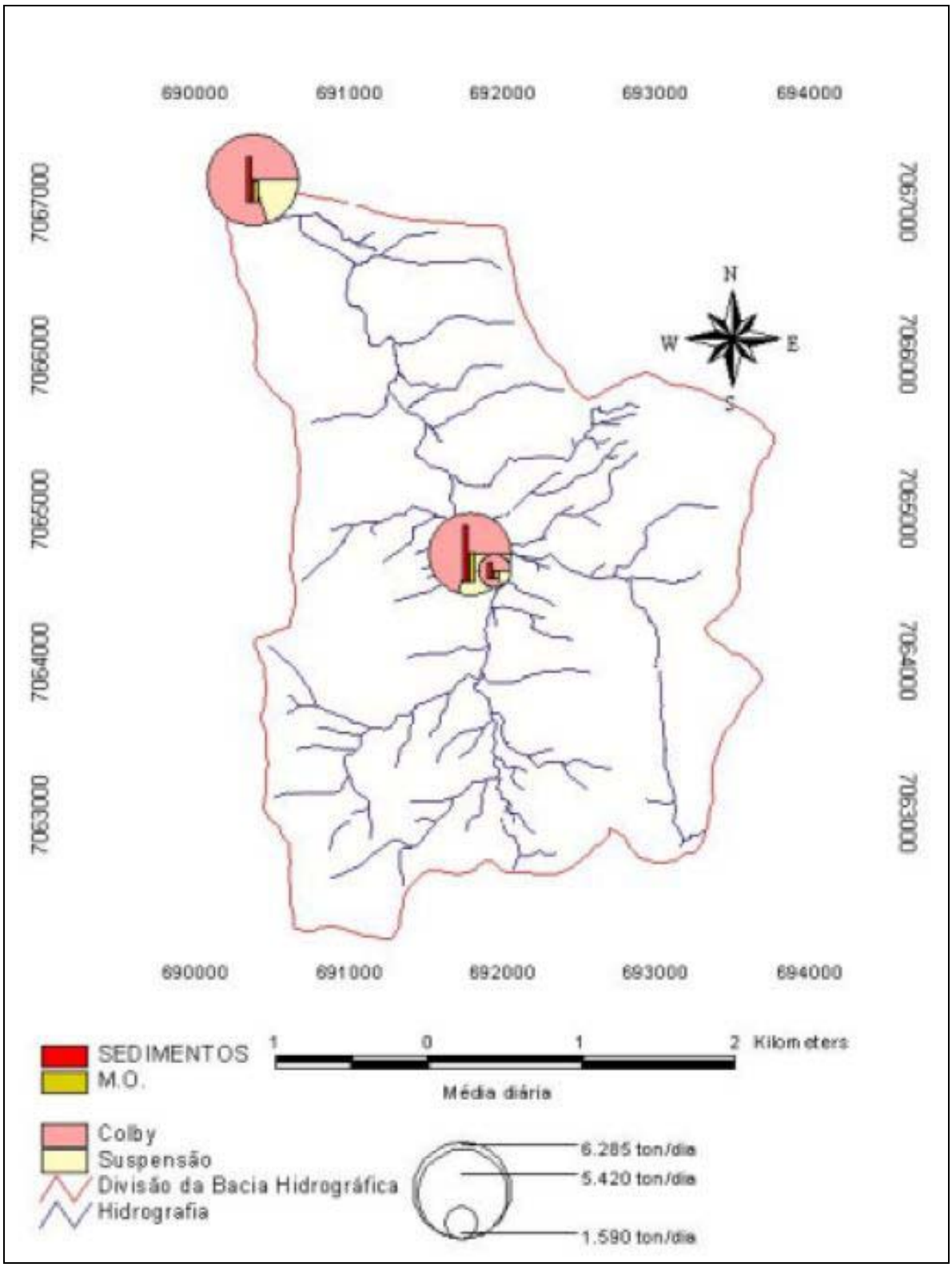

Figura 11: Mapa da localização dos pontos de amostragem com os respectivos dados proporcionais dos materiais retidos nas membranas (Sedimentos e Matéria Orgânica) representados pelas colunas e a proporção na quantificação de sólidos totais (fórmula de Colby e método da filtragem) representados pelos círculos. Fonte: do autor.

O trabalho de pesquisa apresentou dados inéditos de vazões e do aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Molha. A produção de sedimentos pode ser considerada alta em relação à sua vazão, fato este que pode ser explicado pela intensa ocupação existente no

local, que resultou em construções de aterros para fins de moradia e melhoramento asfáltico, além de atividades predominantemente rurais como culturas diversas e piscicultura. As análises concluídas até o momento não permitem estabelecer correlações entre o aporte de materiais de aterros e o aumento de turbidez e de sedimentos na calha do rio. Porém já se pode inferir que os efluentes oriundos de lagoas de piscicultura são responsáveis por grande parte do material sedimentar e matéria orgânica, principalmente no ponto intermediário.

REFERÊNCIAS

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980. 188p.

SANTOS,I. *et al*. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Istituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001, 372p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro: Editora CPRM, 1994.

SILVA, A. *et al.* **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos, SP: Editora Rima, 2003.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia.**São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1973.

EPAGRI/CIRAN/CLIMERH. **Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina.** Florianópolis – SC, 2005.

FATMA. **Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis – SC. <www.fatma.com.br> Acesso em: 10. Mai. 2005.